

Des charges isolées de plus de 400 tonnes sur renforcement de sol

Induction

Cette technique innovante fait partie de la famille des procédés de vibration profonde. Elle consiste à réaliser dans les sols cohérents une substitution en fouille isolée ou filante en matériau granulaire, recomposée à l'aide d'un matériel spécifique breveté Keller.

Le procédé d'Induction nécessite obligatoirement la purge préalable des sols argileux sur une épaisseur variable en fonction des projets et sur une surface correspondante aux dimensions du massif plus un débord.

Lors de cette opération de purge, le matériau de substitution est déversé gravitairement dans la fouille. Le matériau est ensuite recomposé grâce au procédé d'Induction.

Colonnes à Module Mixte CMM®

Ce nouveau procédé breveté de Keller Fondations Spéciales consiste en une inclusion rigide coiffée d'une colonne ballastée.

Ce produit cumule les avantages de la colonne ballastée et de l'inclusion rigide. La présence de colonnes ballastées en tête des inclusions permet :

- de supprimer les effets points durs sous les dallages;
- de reprendre les moments et efforts horizontaux sans prévoir obligatoirement un matelas;
- de réaliser le produit en zone sismique sans prévoir de matelas sous les semelles;
- d'obtenir une meilleure traficabilité de la plateforme (plus de risque de cisaillement de la tête des inclusions par les engins de chantier);
- d'éviter les risques de cisaillement des inclusions lors de la réalisation des fouilles de semelles.

L'innovation au sein de l'entreprise Keller est permanente et permet d'offrir des solutions de renforcement de sol originales bien adaptées au projet et à la géologie du site pour atteindre les objectifs fixés. Cela nécessite parfois de combiner plusieurs techniques pour y parvenir, comme cela a été le cas pour le magasin Ikea à Saint Martin d'Hères (Isère). L'adaptation de ce projet à un contexte géologique difficile, et de surcroît en conditions sismiques, a nécessité le recours à des techniques particulières de renforcement de sol qui font l'objet de cet article.

Le parking du magasin Ikea se situe au rez-de-chaussée du bâtiment, ce qui a amené à porter tout le poids de l'ouvrage (surface de vente et stockage) sur des poteaux L'ossature principale est en charpente béton encastrée en pied, dont les charges de 400 tonnes sont associées à des moments de 30 t/m et des efforts horizontaux de plus de 10 tonnes. Lors d'un séisme, ces efforts déjà importants augmentent encore. Les objectifs de portance et de tassements à atteindre sur ce projet étaient les suivants : un taux de travail supérieur ou égal à 0,5 MPa aux E.L.S., des tassements absolus inférieurs à 3 cm et un tassement différentiel entre poteaux inférieur à 1/750^e.

Des conditions géologiques et géotechniques difficiles

Saint Martin d'Hères se situe dans la cuvette grenobloise caractérisée par une formation alluvionnaire très puissante de plus de 600 mètres d'épaisseur.

Par la nature même de la formation, l'hétérogénéité est très prononcée et sur l'emprise limitée de l'ouvrage, la stratigraphie des sols se trouve totalement différente d'une extrémité à l'autre. Les reconnaissances de sol réalisées par l'entreprise SOLEN/CEBTP ont mis en évidence, sous l'emprise du bâtiment, 3 zones de caractéristiques géotechniques différentes avec, en zone 3, l'apparition d'une formation limoneuse absente en zones 1 et 2 (voir coupe géologique du site) :

Zones 1 et 2 :

- de 0 à - 5,00 m : limons compressibles (Em 2,5 MPa)

- de - 5,00 m à - 15,00 m : alternance de sables et graviers plus ou moins compacts.
- Zone 3 :
- de 0 à - 1,50 m : limons compressibles (Em 2,5 MPa)
- de - 1,50 à - 5,50 m : sables et graviers moyennement compacts
- de - 5,50 à - 16,00 m : limons compressibles.

Choix de la technique

Deux nouveaux produits de renforcement de sol ont fait leur apparition en 2004 et 2005 (la Colonne à Module Mixte CMM® et l'Induction) et complètent la gamme d'une trentaine de techniques de fondation, d'amélioration et de renforcement de sol déjà réalisées par Keller. La solution pieux, qui consistait à envisager 4 pieux de gros diamètre descendus à plus de 20 m de profondeur et armés toute hauteur, a été rapidement écartée pour une question économique.

Une solution de renforcement de sol a donc été recherchée. La première solution étudiée a été la colonne ballastée, car cette inclusion souple reste la technique la mieux adaptée vis-à-vis de sollicitations non verticales centrées avec en plus, des performances élevées dans les sols alluvionnaires où alternent des lentilles sablo-graveleuses et limoneuses. Cependant, la portance atteinte après le traitement se situe entre 0,2 et 0,3 MPa aux E.L.S., ce qui est relativement faible vis-à-vis des charges élevées des poteaux, et les tassements des semelles dans la zone défavorable (zone 3) restaient également trop élevés.

La solution finalement retenue a été de mettre en œuvre un matelas sous les semelles pour augmenter la portance à 0,5 MPa aux E.L.S., et de réaliser des Colonnes à Module Mixte CMM® dans la zone 3 au lieu de colonnes ballastées.

Une vérification sismique de la combinaison de l'effet cinématique (venant du sol) avec l'effet inertiel (venant de la structure) a écarté la solution inclusions rigides par l'appa-

tonnes sur renforcement de sol



Réalisation des Colonnes à Module Mixte CMM®.

rition de moments de flexion dus à l'interface forte matelas/inclusions, en faveur de la Colonne à Module Mixte CMM®.

La partie supérieure de la Colonne à Module Mixte CMM®, constituée de gravier, joue en effet le rôle de rotule très efficace, qui permet de dissocier les deux effets cinématiques et inertiels.

Réalisation des travaux

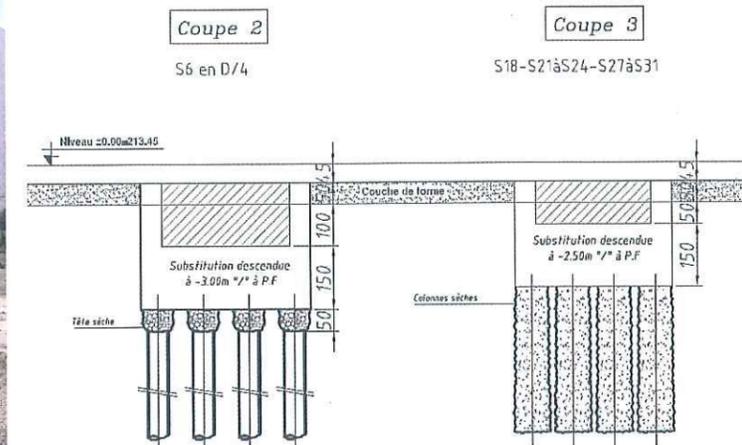
Consulté pour cette opération, Keller Fondations Spéciales a proposé de recourir, selon les zones, à plusieurs techniques de renforcement de sol, à savoir : la Colonne à Module Mixte

CMM®, l'Induction et la Colonne Ballastée (voir encadrés).

Afin d'obtenir des taux de travail et déformations sous les appuis homogènes sur les 3 zones, le phasage suivant a été envisagé au droit de chaque impact de semelle de poteau :

- 1 - réalisation d'une substitution des matériaux limoneux sur une épaisseur de 1,50 m sous l'assise des fondations, par du remblai graveleux 0/100 ;
- 2 - compactage de la partie substituée par la technique d'Induction, technique innovante développée par l'entreprise Keller Fondations Spéciales depuis 3 ans ;
- 3 - renforcement de sol en sous-face de la partie substituée par :
 - colonnes ballastées sèches descendues dans les sables et graviers dans les zones 1, 2, transition ;
 - colonnes à Module Mixte CMM® dans la zone 3.

L'ensemble du dimensionnement du projet s'est fait à l'aide d'un modèle aux éléments finis qui a permis de valider :



Coupe 2 : Induction + CMM® - Coupe 3 : Induction + Colonnes ballastées

- le maillage des colonnes ballastées et Colonnes à Module Mixte CMM®

- les paramètres de réception à vérifier en cours de travaux, hypothèses de notre note de calculs :

- dans les plots $qc \geq 20$ MPa,
- dans les colonnes ballastées $qc \geq 10$ MPa.

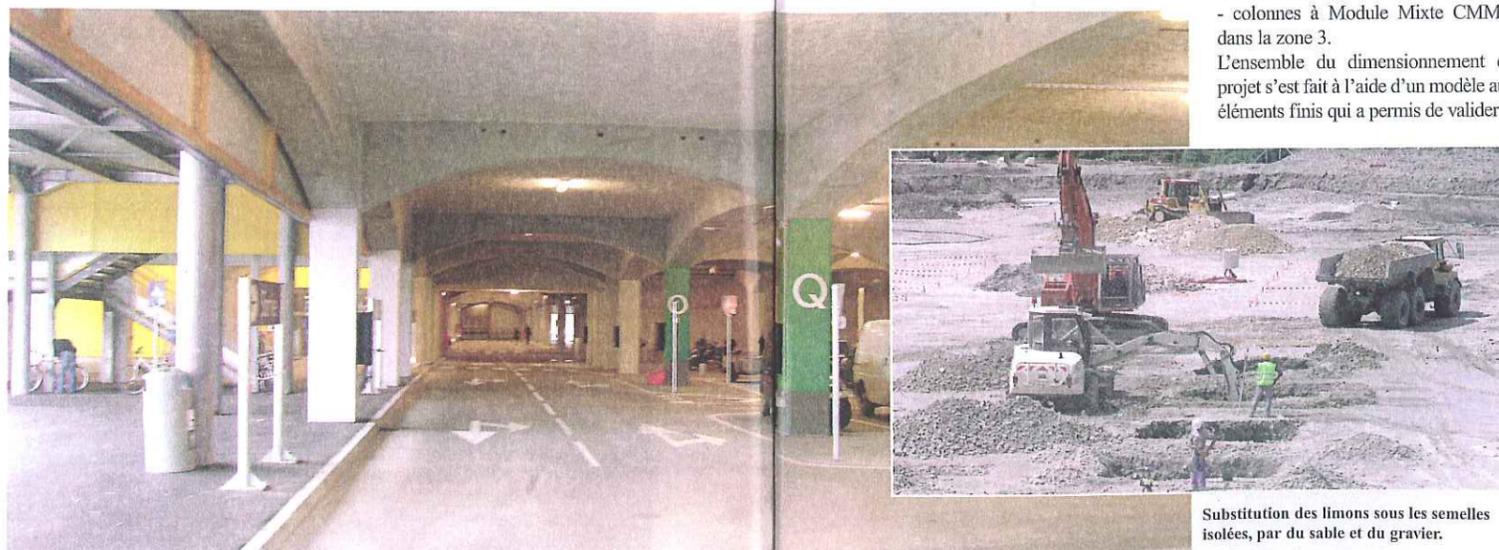
Après validation de la note de calculs et du plan d'exécution, les travaux ont pu débuter en juillet 2006. Ceux-ci ont consisté à réaliser plus de 15 000 ml de colonnes ballastées, 2.500 ml de Colonnes à Module Mixte CMM®, 5 200 ml d'Inductions, 10 000 m³ de plots substitués.

Le délai fixé pour la réalisation de ces travaux était de 2,5 mois. Pour cela, il a donc été nécessaire de mobiliser 4 ateliers complets sur toute la durée de travaux.

En phase travaux, plus de 140 essais au pénétromètre statique ont été réalisés en externe par le bureau géotechnique SOLEN/CEBTP. Ils ont

permis de vérifier que toutes les hypothèses retenues dans la note de calculs ont été atteintes. De plus, afin de valider les déformations réelles en phase de construction de l'ouvrage, Keller a décidé de faire suivre, par un géomètre indépendant, les tassements sur 9 massifs chargés à plus de 400 t E.L.S., et situés dans les zones les plus compressibles. Les tassements, mesurés en phase travaux jusqu'à l'ouverture du magasin (octobre 2007), mettent en évidence un tassement très inférieur aux calculs réalisés, puisqu'il est inférieur au 1/2 cm. Les travaux réalisés confirment que les solutions de renforcement de sol permettent de répondre également à toutes les exigences d'un bâtiment lourd fondé sur semelles isolées chargées à plus de 400 t E.L.S.

Les valeurs de déformation annoncées dans la note de calculs restent quant à elles sécuritaires vis-à-vis des déformations réellement mesurées.



Poteaux du parking sous le magasin, dont les charges s'élèvent à 400 tonnes

Substitution des limons sous les semelles isolées, par du sable et du gravier.

